

Efectos de la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (CVPCC) sobre la salud humana y el medio ambiente en distintos sectores de la localidad de Villa la Angostura, Neuquén

Effects of the Puyehue Cordon Caulle Volcanic Complex (PCCVC) eruption on the health and the environment in different zones of Villa La Angostura, Neuquén

María E Canafoglia^{a,c*}, Marta Vasallo^b, Vicente Barone^a, Irma L Botto^a

Palabras clave:
Cenizas volcánicas, caracterización físicoquímica, fracción fina
Keywords:
Volcanic ash, physical-chemical characterization, fine fraction

ABSTRACT

The environmental problem of a volcanic hazard area located 33° south is considered in this communication. Ash fall and re-mobilized volcanic material five months after Puyehue-Cordón Caulle Volcanic complex eruption (June 2011) are analyzed in three zones in Villa La Angostura (Laguna Piré, Tres Cerros and CPEM N°17 School). On the basis of socio-economic and health problems associated to ash fall and wind effects, the physico-chemical characterization of the finest fraction of volcanic material (100-5µm) was carried out. The work, jointly conducted with teachers from CPEM N°17 School, was made by applying techniques such as X-ray diffraction (XRD), electron microscopy (SEM) and chemical analysis using the electron microprobe (EDS-EDAX). X-ray diffraction results indicate that the finest fraction is poorly crystalline and probably formed through a fragmentation process of pumiceous materials. However, more intense diffraction lines of silica phases (particularly, plagioclase) were observed. Fine material had a rhyolitic composition ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratio around 5) showing a morphology characterized by sharp edges and vitreous fracture. Content of iron, alkaline and alkaline-earth was low. Additional tests were carried out to analyze the alteration of primary minerals and the corrosion effects observed in the area. Knowing the volcanic material in contact with the local population for a long time as well as its re-mobilization by wind effect is of vital importance for the prevention and mitigation of problems related to health and the environment in a region of high volcanic risk.

RESUMEN

El trabajo aborda la problemática ambiental de una zona de riesgo volcánico localizada al sur del paralelo 33°, focalizando la atención en el estudio de cenizas de caída reciente o remobilizadas por el viento, cinco meses después del inicio de la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (CVPCC) en junio de 2011. El muestreo se realizó en tres zonas de Villa La Angostura situada a 40 Km al E del foco emisor: (Laguna Piré, Tres Cerros y Escuela CPEM N°17). Considerando los efectos socio-económico-sanitarios de la caída de cenizas en dicha comunidad se ha encarado el estudio de la caracterización físico química de la fracción mas fina del material volcánico (100-5µm). El trabajo, realizado conjuntamente con docentes de la CPEM N°17, se ha efectuado mediante la aplicación de diversas técnicas como difracción por rayos X (DRX), microscopía electrónica (SEM) y análisis químico por microsonda (EDS-EDAX). Los resultados de DRX indican que en general la fracción fina es prácticamente amorfa y procede de un proceso de fragmentación de material pumíceo. Sin embargo, eventualmente se observan algunas líneas de difracción de fases silíceas, particularmente plagioclasa. La morfología del material fino, de composición riolítica (relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ del orden de 5), se caracteriza por la presencia de bordes agudos y fractura concoide. Presenta contenidos menores en hierro, alcalinos y alcalino-térreos. Se han realizado ensayos químicos adicionales a fin de analizar la alteración del material y su relación con los efectos de corrosión observados en la zona. El conocimiento del material en contacto con la población así como la continuidad en la emisión de particulado fino y la re-movilización del mismo por los vientos, es de vital importancia en lo que se refiere a las acciones de prevención y mitigación de problemas vinculados a la salud y al cuidado del medio ambiente.

Recibido 22 de marzo de 2012; Aceptado 13 de septiembre de 2012

^aCEQUINOR (CONICET CCT La Plata) Universidad Nacional de La Plata

^bCentro de Enseñanza Media N°17 (CPEM N° 17), Villa La Angostura, Neuquén

^cFacultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata

*Autor para correspondencia: mecanafa@fcnym.unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

El inicio de la actividad eruptiva del Complejo Volcánico Puyehue, Cordón Caulle, o CVPCC, Chile ($40^{\circ}34'57''\text{S}$ - $72^{\circ}06'53''\text{O}$, 2236 m snm) tuvo lugar el 4 de junio de 2011, eyectando, durante la primer semana de actividad, más de cuatro millones de metros cúbicos de material piroclástico sobre el territorio argentino. Asimismo, otras fases de la erupción fueron observadas en los meses siguientes al evento (SerNaGeoMin, 2011).

Los fenómenos naturales como una erupción volcánica se caracterizan por una acción transformadora del medio ambiente. Así, conforme a la magnitud del evento, su impacto en el medio puede generar cambios en las condiciones ambientales, el clima, los ecosistemas y en la geomorfología de la región. Sus consecuencias afectan extensas regiones, alcanzando, en menor magnitud, escalas globales.

En el caso de CVPCC la acción de los vientos ha sido responsable de la dirección preferencial de la pluma (O-NE/SE) así como del depósito y sedimentación de cenizas en amplias regiones de la Patagonia y Pampa argentina.

Es bien conocido que las cenizas volcánicas son materiales altamente peligrosos para la salud y el medio ambiente (problemas respiratorios y visuales, contaminación de suelos y cursos de agua y nocivos efectos sobre flora y fauna, etc.) (WHO, 1986; Horwell & Baxter, 2006; Horwell & Le Blond, 2010)

Por otra parte, impacta negativamente en el desarrollo socio-económico de amplias regiones (disminución o cese de actividades industriales, comerciales, turismo, cancelación de vuelos, etc.).

La peligrosidad de los materiales procedentes de una erupción volcánica se incrementa con el tiempo. Los procesos de movilización y re-suspensión atmosférica

debido a la acción de los vientos es uno de los factores más importantes.

La localidad turística de Villa La Angostura, situada a sólo 40 Km del foco emisor, se ha visto particularmente afectada por el evento, quedando prácticamente cubierta por material particulado de diferente granulometría, situación que ha generado preocupación entre sus habitantes, no sólo por los riesgos sanitarios que conlleva, sino también por los daños de infraestructura y de funcionamiento de la Villa, observados a corto y mediano plazo.

En el marco mencionado y teniendo en cuenta que las propiedades físicoquímicas de los materiales son de gran importancia en relación a los efectos mencionados, el trabajo presenta resultados sobre la caracterización y reactividad de las cenizas habiendo focalizado la atención en el estudio de las partículas de granulometría más fina (tamaño arena fina a limo arcilla), debido a su movilidad y marcado efecto sobre la salud (Horwell, 2007).

A tal fin se han aplicado diversas técnicas como difracción por rayos X (DRX), microscopía electrónica (SEM) y análisis químico por microsonda (EDS-EDAX) y realizado algunos ensayos de laboratorio para determinar su reactividad. El estudio llevado a cabo, que será difundido adecuadamente a la comunidad para su conocimiento, es una contribución al entendimiento del proceso de dispersión del material eyectado y sus implicancias en la salud y el medio ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha procedido al muestreo de material en 3 lugares, localizados prácticamente en línea recta, según se observa en la Figura 1. Las muestras han sido tomadas transcurridos 5 meses de la erupción. Los espesores de material depositado en cada punto de muestreo son del orden de 30

cm. El material fino de caída fue colectado sobre superficies limpias y cotejado con el de las capas superiores de los depósitos

cronológicamente más recientes. La Tabla 1 indica la ubicación geográfica y datos altimétricos de los lugares de muestreo.

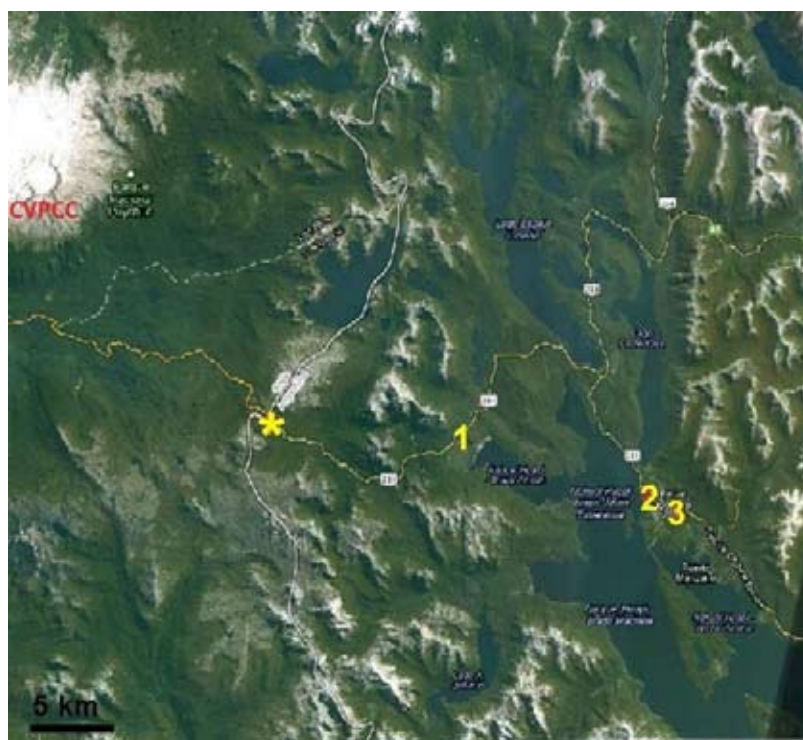


Figura 1. Mapa satelital de la zona de extracción de muestras (Google Map).

Figure 1. Satellite image of the sampling zone (Google Map)

Sitio	Ubicación	Coordenadas geográficas	Altitud (m snm)
Foco emisor	Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle	40°34'57"S - 72°06'53" O	2236
*	Paso Internacional Samoré	40°42'43"S - 71°56'38" O	1321
1	Laguna Piré (Brazo El Rincón)	40°45'12"S - 71° 47'51"O	777
2	Tres Cerros	40°45'19"S - 71° 39'50" O	835
3	Escuela CPEM 17	40°45'55"S - 71° 38'49" O	795

Tabla 1. Ubicación de los sitios de muestreo (según Figura 1).

Table 1. Location of the sampling sites (according to Figure 1)

La mineralogía ha sido estudiada mediante difracción por RX, utilizando un equipo PHILIPS PW 1710, con radiación Cu Ka y filtro de Ni (LANADI UNLP).

El estudio morfológico se ha realizado por microscopia de barrido electrónica ESEM (FEI Quanta 200), con filamento de tungsteno: Las determinaciones semi-cuantitativas EDS por microanálisis se han realizado en un equipo EDAX con detector Apollo 40. (LIMF UNLP).

Los ensayos de laboratorio consisten en la realización de tratamientos a diferente pH, entre 3 y 7 (agua destilada), a diferentes tiempos (1- 24 hs) y temperatura ambiente, utilizando HCl 0.1 M para las soluciones ácidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tamaño del material más fino, de depósito reciente o de la eventual suspensión en el aire, aproximadamente 5 meses después del evento volcánico principal, no supera los 100 μm . Su caracterización mineralógica mediante DRX indica un predominio de fase amorfa. Los diagramas de DRX típicos para los materiales estudiados se muestran en la Figura 2. Eventualmente son observadas algunas líneas de difracción, típicas de material cristalino, como en el caso de la Figura 2, superpuestas a las anchas señales del material amorfo. La fase cristalina identificada es una plagioclasa (aluminosilicato sódico cálcico PDF 83-1369). Los

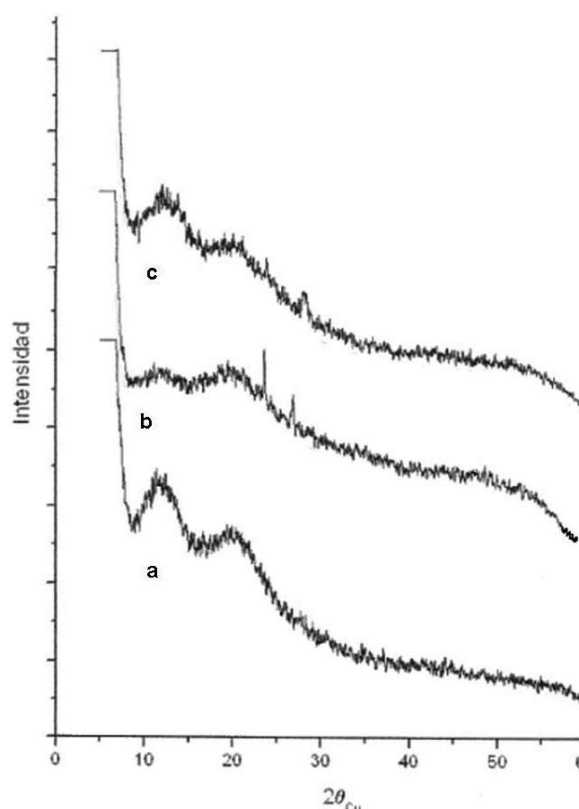


Figura 2. DRX de material fino procedente de a) Laguna Piré (Referencia 1), b) Tres Cerros (Referencia 2), c) Escuela CPEM 17 (Referencia 3).

Figure 2. XRD of fine material from: a) Laguna Pire (Reference 1), b) Tres Cerros (Reference 2), c) CPEM 17 School (Reference 3)

diagramas sugieren la ausencia de fases cristalinas de sílice si bien es posible que las señales de mayor intensidad de dichas fases en la zona de 22 y 26° de 2 θ se encuentren solapadas por la predominancia de la fase vítrea.

Con fines comparativos se realizó el estudio de DRX de materiales depositados en las zonas de mayor proximidad al volcán: Paso internacional Samoré, indicado en la Figura 1. Un perfil típico del material depositado en esa zona es observado en la Figura 3. El mismo revela una marcada variación en su granulometría desde pefítico a psamítico (partículas claras tipo pómez de tamaño superior los 4 cm, entremezcladas con particulado pardo-oscuro, de menor

granulometría (inferior a los 5 mm)) y material superficial claro y fino (100 μ m o menor). Tanto el material claro de mayor tamaño como el superficial fino, más recientemente depositado, resultan prácticamente amorfos a los RX (Figura 4), en coincidencia con los resultados de las cenizas de la Figura 2: Sin embargo, el material de color pardo oscuro presenta cristalinidad (Figura 5) y contenidos variables de material amorfo. En las muestras con menor proporción de material no-cristalino, es posible observar las líneas más intensas de las especies oxídicas de silicio (α cristobalita PDF 82-1233 y α cuarzo PDF 83-2187, plagioclasa PDF 83-1369) así como las señales correspondientes a la especie magnetita (reflexiones de mayor intensidad en 35,43 y 30,08° de 2 θ , PDF 86-1362)



Figura 3. Perfil de material depositado (Paso Internacional Samoré).

Figure 3. Profile of deposited material (Paso Internacional Samoré)

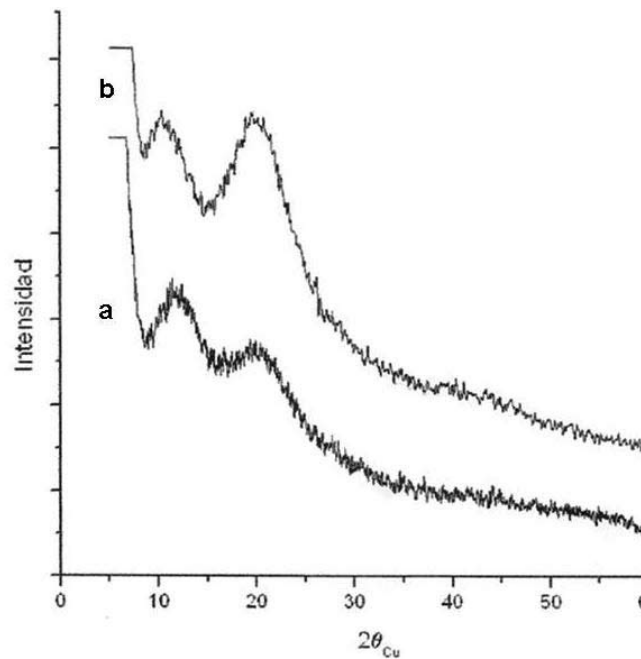


Figura 4. DRX de: a) material claro de tamaño 4 cm, b) material de superficie (fino)

Figure 4. XRD of: a) clear material (4 cm size), b) fine surface material

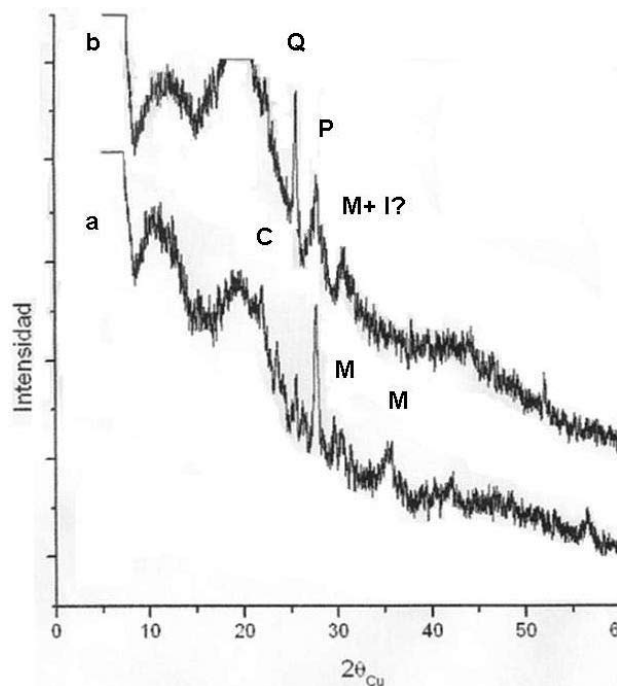


Figura 5. DRX comparativo de material oscuro (tamaño 3 mm) con diferente contenido de cristaloclastos. (P: plagioclase, Q: cuarzo, C: cristobalita, M: magnetita, I: ilmenita)

Figure 5. Comparative XRD of dark material (size 3 mm) with different content of crystalloclastic material (P: plagioclase, Q: quartz, C: cristobalite, M: magnetite, I: ilmenite)

y eventualmente ilmenita (PDF 89-2811, reflexión más intensa 32.51° de 2θ).

Por otra parte, el comportamiento morfológico (SEM) de las muestras finas, representativas de los tres sitios indicados, resulta similar. La Figura 6a revela la eventual presencia de partículas mayores de $100\ \mu\text{m}$, cuyo aspecto (canales e intensa vesiculación

finas) se diferencia de las de menor tamaño (entre 100 y $10\ \mu\text{m}$), observadas en la Figuras 6b, 6c y 6d, (vítreos, fractura concoidea y bordes agudos). Al aumentar la magnificación se observa el predominio de las partículas menores a $5\ \mu\text{m}$. Por otra parte, la fracción de tamaño limo-arcilla es comparativamente más abundante en los puntos más alejados de la fuente.

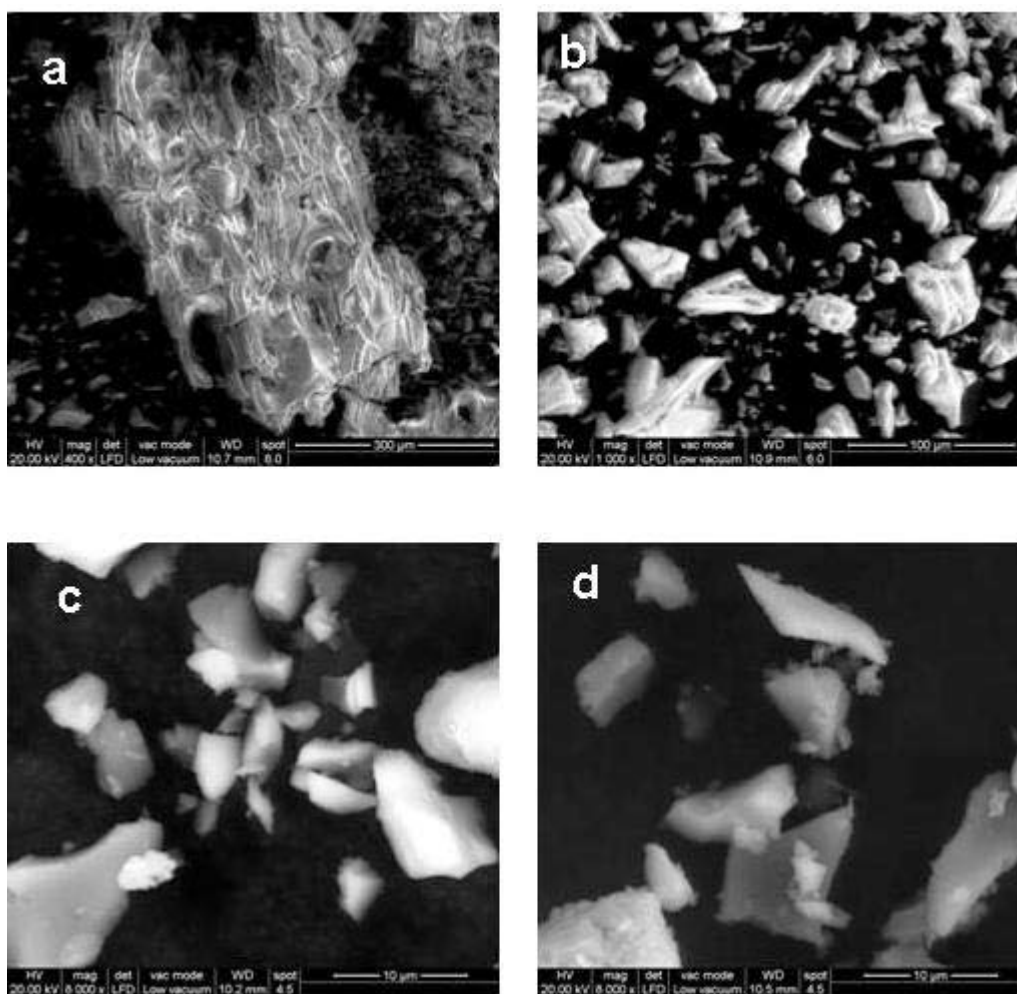


Figura 6. Micrografías SEM de material fino a diferente magnificación: a) eventuales partículas de tamaño superior a $100\ \mu\text{m}$, x 400, b) x 1000, c) y d) x 8000.

Figure 6. SEM data of fine material at different magnification: a) particles with a size higher than $100\ \mu\text{m}$, x 400, b) x 1000, c) and d) x 8000

La Tabla 2 muestra los resultados del análisis químico promedio por EDS-EDAX (elementos mayoritarios expresados en % óxidos).

La constancia en los datos químicos, conjuntamente con la observación microscópica y los análisis mineralógicos sugiere mecanismos de fragmentación de material con alto contenido de sílice, procedente de un magma riolítico. Es de destacar que el material presenta un contenido en hierro ligeramente superior al esperado para el tipo de magma y en base a las características de dicho elemento, el mismo presenta una disponibilidad que, conforme a las condiciones del medio, posibilitan su movilidad al entorno.

En lo que respecta a la acción del material volcánico sobre la infraestructura vital para la Villa, los pobladores reportaron efectos de abrasión y corrosión. Si bien los primeros son de naturaleza mecánica, los segundos son de neto corte químico. En principio se asocian a la formación de aerosoles ácidos en la pluma (sulfúrico, clorhídrico, fluorhídrico), en las etapas iniciales de la erupción (Witham *et al.*, 2005). Así, las superficies de las cenizas suelen ser generadoras de soluciones fuertemente

ácidas (Ej. pH 2.5). Con posterioridad a su depósito, las cenizas se encuentran sujetas a una acidificación adicional por las lluvias ácidas originadas por las emisiones gaseosas continuas (pH 3-5) (Stewart *et al.*, 2006).

Por otra parte, los procesos de meteorización de los minerales primarios también son generadores de protones. Ha sido reportado que en algunos eventos volcánicos el tratamiento ceniza-agua durante 30 días evidencia un descenso de pH de 2 unidades (pH entre 4 y 5) (Fiantis *et al.*, 2010). Estas consideraciones significan que los problemas asociados con la acidez pueden registrarse aún finalizada la etapa de erupción y, en gran parte, pueden ser atribuidos a la composición química de las cenizas. Para analizar los efectos de corrosión, debidos a la meteorización de las especies primarias (en particular magnetita), se realizaron ensayos de laboratorio, seleccionando para ello material depositado cuyo contenido en hierro (expresado como FeO total) es superior al 35 %. Se encontró que la lixiviación, medida a partir del contenido de Fe (III) en solución es rápida a pH 3, en tanto que a pH 5 es muy lenta y a pH 7 (agua pura) no es observada para el tratamiento de mayor duración (24 hs). Es evidente que la disolución del hierro mineral se facilita en el rango de pH 3-5, del orden de los

% Óxidos	1	2	3
Na ₂ O	5.61	6.00	5.99
MgO	0.47	0.45	0.52
Al ₂ O ₃	15.63	14.93	16.24
SiO ₂	68.16	66.07	66.89
K ₂ O	2.96	2.99	2.98
CaO	1.97	1.96	2.09
TiO ₂	0.99	1.18	0.77
FeO	4.21	6.42	4.52

Tabla 2. Datos químicos promedio por EDS EDAX del material procedente de los sitios indicados en la Tabla 1.

Table 2. Chemical data by EDS-EDAX (average) of material from the sites shown in Table 1

determinados por el contacto inicial ceniza-agua (4-5). Resulta importante destacar que la cinética del proceso de disolución es altamente dependiente de un gran número de factores, no considerados en los ensayos de laboratorio como efectos térmicos, fotoquímicos, formación de complejos, o presencia de reductores como por ej. Fe/humus (Cornell & Schwertmann, 2003). En el caso ensayado, a partir de la disolución en ambiente oxidante y sobre la base del efecto hidrolítico de la especie catiónica resultante, se contribuye al mantenimiento del pH en el orden de 5. Los procesos de

corrosión por el medio ácido se manifiestan en la formación de óxidos y oxihidróxidos a partir del material volcánico, como se observa en las fotos de la Figura 7 (un ensayo de laboratorio en el que se observa la disolución y precipitación en forma coloidal por neutralización y un proceso similar observado en la zona afectada). Las propiedades de la magnetita, con el hierro en sus dos estados de oxidación facilitan los procesos de alteración, en particular cuando el contacto con el medio facilita las reacciones de interfase.



Figura 7. Efectos de alteración hidrolítica: a) material oxidado por tratamiento en el laboratorio, b) y c) material oxidado por alteración en condiciones naturales.

Figure 7. Effects of hydrolytic alteration: a) material oxidized through laboratory treatment, b) and c) material oxidized in natural conditions

CONCLUSIONES

El material piroclástico que cubre amplias regiones de Villa. La Angostura presenta una granulometría variable. Focalizando la atención en el tipo de partículas de caída mas reciente, la fracción fina, de naturaleza vítrea y morfología de bordes agudos y fractura concoide, representa un potencial riesgo para la salud (vías respiratorias) y el medio ambiente (procesos químicos y mecánicos). Su fácil movilización y suspensión en el aire ocasiona problemas de visibilidad, modificando localmente el clima y pudiendo conducir a eventuales procesos de desertización.

Por otra parte, la fracción oscura, depositada en las primeras etapas de la erupción, se encuentra constituida por cristaloclastos (plagioclasa y magnetita como especies predominantes) generadores de procesos hidrolíticos y de corrosión en el medio natural.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo se ha realizado en el marco de los Proyectos PICT 2494 y UNLP X11-542.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cornell M R & Schwertmann U. 2003. The Iron oxides. Second Edition, Wiley VCH.
- Fiantis D, Nelson M, Shamshuddin J, Goh T B & Van Ranst E. 2010. Leaching experiments in recent tephra deposits from Talang volcano, Indonesia. *Geoderma*, 156: 161-172
- Horwell C J. 2007. Grain size analysis of volcanic ash for the rapid assessment of respiratory health hazard. *Journal Environmental Monitoring*, 9: 1107-1115
- Horwell C & Baxter P. 2006. The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. *Bulletin of Volcanology*, 69: 1-24
- Horwell C & Le Blond J S. 2010. Cristobalite in a rhyolitic lava dome: evolution of ash hazard. *Bulletin of Volcanology*, 72: 249-253
- SerNaGeoMin (Servicio Nacional Geológico Minero, Chile). 2011. Reportes Especiales de Actividad Volcánica Complejo Volcánico Puyehue - Cordon Caulle. Fechas 4 a 12 de Junio. www.sernageomin.cl
- Stewart C, Johnston D M, Leonard G S, Horwell C J, Thorsarson T & Cronin S J . 2006. Contamination of water supplies by volcanic ashfall. A literature review and simple impact modeling. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 158: 296-306
- Witham C, Oppenheimer C & Horwell CJ. 2005. Volcanic ash-leachates: a review and recommendations for sampling methods. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 141: 299-326
- WHO (World Health Organization). 1986. Environmental health criteria 53. Asbestos and other natural mineral fibres. IPCS, INCHEM Home. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc53.htm>